Caldasia 17 (2): 199 - 204, 1993

FLUJO DE COMPUESTOS ORGANOCLORADOS EN LAS CADENAS TROFICAS DE LA CIENAGA DE SANTA MARTA

JAIRO PLATA
Universidad de Caldas, Apartado 090, Manizales, Colombia.

NÉSTOR HERNANDO CAMPOS
Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. INVEMAR, Apartado 1016, Santa Marta, Colombia.

GUSTAVO RAMÍREZ
INVEMAR, Apartado 1016, Santa Marta, Colombia.

Resumen

Con el fin de describir la dinámica de los compuestos organoclorados a través de la red trófica de la Ciénaga Grande de Santa Marta, se adelantaron muestreos simultáneos del seston y de peces de diferentes niveles tróficos: bocona (*cetengraulis edentulus*) planctófago; lisa (*Mugil incilis*) detritívoro; el chivo (*Ariopsis bonillai*) carnívoro. Se determinaron los contenidos de organoclorados por cromatografía gas-líquido, empleando n-hexano y acetonitrilo como solventes de extracción y se compararon con 14 patrones puros de organoclorados. Los factores de acumulación para la bocona son de 2240 veces, para la lisa 2343 y para el chivo 21800. Los factores de magnificación entre los diferentes niveles tróficos son lisa/bocona = 1.47; chivo/lisa = 3.3; chivo/bocona = 2.6. Se describe el modelo de flujos de los organoclorados en la Ciénaga Grande de Santa Marta con base en estos resultados.

Abstract

Monthly samples of seston and fish species of different throphic levels were done at the Ciénaga Grande de Santa Marta in order to describe organochlorinated compounds dynamics. The fish used were: atlantic anchoveta, mullet and catfish. The organochlorinated contents were determined by gas-liquid chromatography using n-Hexane and Acetonitrilo as extraction solvents. The results were compared to 14 organochlorinated pure patrons. The following accumulations patterns were found: atlantic nchoveta 2240 times, mullet 2343 times and catfish 21800 times and the magnifying factors among the differents thropic levels: mullet/atlantic anchoveta = 1.47, catfish/atlantic anchoveta = 2.6 and catfish/mullet = 3.3 The transport model of the organochlorinated compounds in the Cienaga Grande de Santa Marta is described bassed in these results.

Introducción

En el mar la remoción de los compuestos clorados desde las capas superficiales y su introducción a las capas profundas y al sedimento involucran no sólo a microrganismos migratorios, sino a procesos verticales de mezcla y adsorción por el material suspendido (plancton y detritus orgánico e inorgánico), como lo demostraron Weil *et al* (1973) y Derenbach *et al* (1978).

Gran parte de los organoclorados ambientales es asimilada por la biota y almacenada en los tejidos y órganos grasos, otra parte es excretada al medio con las heces o con la orina. La excreción de los organoclorados en los organismos acuáticos es menor que su asimilación, alcanzando concentraciones mucho más altas que las del medio circundante (Phillips, 1980).

Por su condición de laguna costera, la Ciénaga Grande de Santa Marta puede ser considerada como una «trampa natural» de contaminantes acuáticos, entre ellos los organoclorados. Los ríos del piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta y los caños y ciénagas de la margen suroccidental, que sirven de drenaje a las aguas contaminadas del Río Magdalena, son las principales fuentes de descarga de contaminantes a la Ciénaga.

Entre los trabajos sobre contaminación de la Ciénaga por compuestos organoclorados, se destacan los de Martínez (1978), Ramírez (1988), Estrada (1988). Estos antecedentes han motivado el presente estudio, que describe el flujo de los compuestos organoclorados a través de cuatro niveles tróficos de la Cienaga. Por la complejidad de la estructura trófica de los ecosistemas en general, se escogieron representantes de los principales niveles, un productor, dos consumidores primarios (detritívoro y planctófago) y un carnívoro.

Materiales y métodos

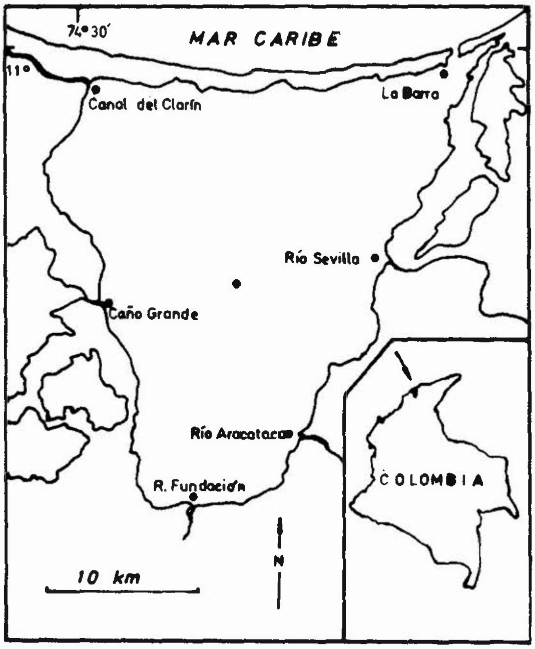
La determinación de los compuestos organoclorados se hizo en el seston y en el tejido muscular de la bocona *(Cetengraulis edentulus)*, en la lisa (*Mugil incilis*) y en el chivo (*Ariopsis bonillai*).

Se realizaron muestreos trimestrales durante cuatro períodos, el primero en noviembre de 1988 y los restantes en los meses de febrero, mayo y agosto de 1989. Las muestras de sestón se tomaron en seis estaciones localizadas dentro de la Ciénaga (fig. 1), frente a la desembocadura de los ríos Sevilla, Aracataca y Fundación, de los caños Grande y Clarín y en la boca de la Barra.

El agua para la muestra de seston se tomó de toda la columna de agua, con una botella construida con un tubo de PVC (2.0 X 0.2 m). Del volumen previamente homogenizado se tomó una submuestra de 1.1, el seston se separó en un filtro miliporo de fibra de vidrio, se secó y se almacenó para el análisis.

Los peces se colectaron aleatoriamente en toda el área de la Ciénaga, se pesaron y midieron; se seleccionaron diez ejemplares machos adultos de cada una de las especies. De cada pez se extrajo una submuestra de músculo del costado derecho que se deshidrató por calentamiento a 70°C por 24 horas.

La determinación de los residuos de plaguicidas clorados acumulados en el músculo y en el seston, se hizo mediante análisis por cromatografías gas-líquido, según la técnica recomendada por la EPA (1979), estandarizada por PNUMA-CPPS (1983) y ajustada a las condiciones del INVEMAR (Plata, 1990).



Localización de las zonas de estudio

La extracción se hizo con 20 ml de acetonitrilo adicionado a un frasco ámbar que contenía un gramo de muestra seca. Estos frascos fueron colocados en agitación constante durante 18 horas, luego de las cuales se recuperó el extracto y se pasó a través de una columna de florisil para eliminar lípidos y material polar.

Se usó un cromatógrafo de gases Perkin-Elmer «Sigma 300» con detector de captura electrónica, y fuente de radiación Ni^{63}, dotado de una columna de vidrio (1.8 m x 2.0 mm) empacada con OV-17 (3%) como fase líquida sobre chromosorb PWH (100/120 mesh). Los tiempos de retención (RT) y el área de cada pico se registraron en un integrador Perkin-Elmer LCI-100. Como compuestos de referencias se emplearon soluciones de 14 patrones puros de organoclorados Accu-Stándar. Los diferentes compuestos clorados se agruparon por familias, de acuerdo a la afinidad química.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan las concentraciones en pg/ml de muestra filtrada, de las diferentes familias de organoclorados medidas en las muestras de seston.

Los valores más altos de hexaclorobencenos (BHCs) se midieron durante el tercer muestreo, con valores similares en las estaciones de la boca de la Barra, el río Aracataca y el río Fundación (144.9 pg/ml) y valores menores en las estaciones restantes. Los contenidos más bajos se midieron durante el segundo muestreo en la estación del río Sevilla (0.3 pg/ml).

El comportamiento de los heptacloros fue muy parecido al de los anteriores; los valores más altos se detectaron durante el tercer muestreo (2.6 y 45.9 pg/ml) y los más bajos en el segundo (0.29 y 1.62 pg/ml). El aldrin sólo se detectó una vez en dos estaciones. Las concentraciones contenidas en músculo de peces muestran la presencia de todas las familias de organoclorados analizadas (agrupadas por afinidad química) en las tres especies, a excepción del aldrín, que no fue detectado durante el segundo y cuarto muestreo en la bocona y la lisa y en el cuarto en el chivo.

El análisis de regresión que relaciona las concentraciones en el tejido muscular de los

Tabla 1. Concentraciones promedios de los compuestos organoclorados medidos en el seston en pg/ml, la bocona (*Cetengraulis edentulus*), la lisa (*Mugil incilis*) y el chivo (*Ariopsis bonillai*) agrupados por familias en pg/mg.

	Seston pg/ml	Bocona pg/mg	Lisa pg/mg	Chivo pg/mg
Primer muestreo				
BHC*	2.72	1.79	1.15	2.48
HEPTACLORO	6.87	2.03	0.54	0.89
ALDRIN	0.00	0.21	0.05	0.05
DIELDRIN	7.16	6.56	3.24	5.28
DDT	3.98	8.56	3.00	1.63
Segundo muestreo				
BHC*	1.05	1.64	1.99	0.65
HEPTACLORO	0.48	0.92	1.81	0.65
ALDRIN	0.08	0.00	0.00	0.18
DIELDRIN	6.89	6.33	5.35	6.82
DDT	6.24	3.03	8.40	2.19
Tercer muestreo				
BHC*	33.41	2.50	16.16	20.31
HEPTACLORO	27.69	1.88	14.63	11.54
ALDRIN	0.63	7.24	1.05	1.70
DIELDRIN	215.29	99.46	153.44	94.45
DDT1	4.00	82.42	37.77	1362.30
Cuarto muestreo				
BHC*	20.92	16.53	12.17	17.85
HEPTACLORO	10.49	14.37	18.51	19.92
ALDRIN	0.00	0.00	0.00	0.00
DIELDRIN	421.19	312.83	50.77	144.45
DDT	3.11	46.65	89.58	1007.59

* Hexaclorobencenos

peces y en el seston permitió obtener las siguientes ecuaciones:

Bocona vs seston: $y = 4.564 + 0.669 X$, $r = 0.944$ ($p < 0.005$)

Lisa vs seston: $y = 12.93 + 0.206 X$, $r = 0.57$ ($p < 0.005$)

Chivo vs seston: no se observó relación alguna, $r = -0.0008$

y = Concentración de los organoclorados en peces

X = Concentración de los organoclorados en el seston

Claramente se demuestra la relación de los consumidores primarios con los productores primarios en la Ciénaga. La bocona que es una especie planctófaga, filtradora permanente de plancton, muestra una relación positiva y significativa entre su contenido de organoclorados y las concentraciones en el seston, mientras que en especies detritívoras, como es el caso de la lisa, el factor de correlación es mucho menor; ésto quizás se explique porque, a pesar del aporte continuo desde el seston hacia el bentos, es probable que exista un enriquecimiento por los procesos de suspensión del material depositado, para la carnívora no se observó relación alguna.

Entre cada uno de los niveles estudiados se observaron diferencias marcadas en las tasas de acumulación (tabla 2) (relación entre las concentraciones de los organoclorados en cada nivel y la concentración de los mismos en el medio, en este caso el sestón). Se observó un aumento de la concentración de organoclorados en todos los peces a medida que pasa el tiempo, lo cual se explica por un mayor tiempo de exposición a los contaminantes, que son acumulados en diferentes tasas, como se observa en la tabla 2.

Como es ampliamente conocido, los compuestos organoclorados son acumulados en mayores proporciones, a medida que se asciende en la red trófica. Como se desmuestra en el presente trabajo (fig. 2), las tasas de acumulación son: para la especie filtradora de 2240, para la detritivora 2343 y para la carnívora el valor alcanzó 21800 veces.

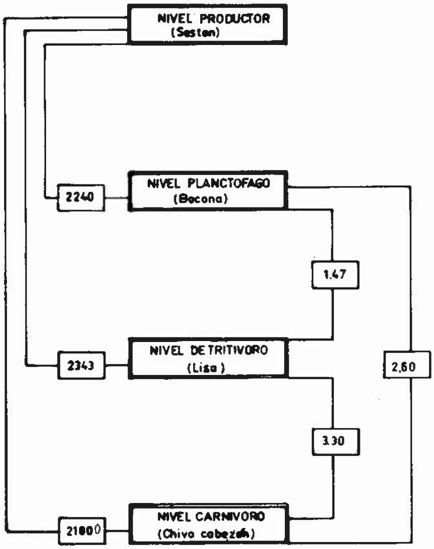
Tabla 2.Factores de bioacumulación (a) y biomagnificación (b) para cada nivel trófico, se tomaron los valores totales y se calculó el porcentaje en cada uno de los niveles y en el caso del seston se calculó para cada una de las estaciones.

Muestreo	**B/S** **L/B**		**L/S** **Ch/B**		**Ch/S** **Ch/L**	
	(a)	**(a)**	**(a)**	**(b)**	**(b)**	**(b)**
1	808	342	438	0.40	0.61	1.40
2	976	1558	1071	1.36	0.56	0.43
3	3597	1218	20273	3.28	4.40	8.07
4	3580	6554	65416	0.82	4.90	3.33
Prom.	2240	2343	21800	1.47	2.60	3.30

B/S: Bocona/Seston
L/S: Lisa/Seston
Ch/S: Chivo/Seston
L/B: Lisa/Bocona
Ch/B: Chivo/Bocona
Ch/L: Chivo/Lisa

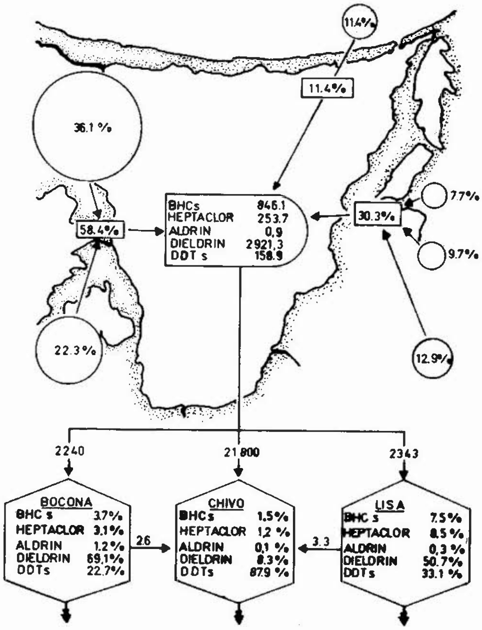
Se calculó además el factor de magnificación, es decir la relación entre las concentraciones de dos niveles tróficos; los valores obtenidos se presentan en la tabla 2. Los resultados demuestran claramente, que la relación entre un consumidor y sus presas, en este caso el chivo como consumidor y la lisa y la bocona como las presas, es semejante, a pesar de que existan diferencias, debidas probablemente a la mayor dependencia del carnívoro por una de las presas. Por el contrario, la relación entre los dos consumidores primarios es ligeramente superior a uno, lo cual significa que los organismos situados en niveles superiores acumulan una mayor cantidad de organoclorados que los de niveles inferiores (fig. 2).

Para la descripción del flujo de los compuestos organoclorados dentro de la Ciénaga, se tomaron los valores totales y se calculó el porcentaje en cada uno de los niveles y en el caso del seston se calculó para cada una de las estaciones. En la figura 3 se presenta el flujo de los organoclorados en la Ciénaga. Las


NIVEL PRODUCTOR
(Seston)
NIVEL PLANCTOFAGO
(Bocona)
NIVEL DETRITIVORO
(Lisa)
NIVEL CARNIVORO
(Chivo cabezón)
2240
2343
21800
1.47
3.30
2.60

mayores fuentes de entrada de los compuestos organoclorados a la Ciénaga se sucede por el margen occidental, con más del 50% de la descarga total, esta zona tiene una fuerte influencia de las descargas cíclicas del río Magdalena; por el margen oriental a través de los ríos procedentes del piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, con un aporte del 40%. Los valores de magnificación en las tres especies involucradas, demuestran claramente, que en los procesos de acumulación las concentraciones se elevan en el nivel de los carnívoros a valores cercanos a 22000 veces los medidos en el seston, mientras que en los consumidores primarios (detritívoros y planctófagos) esos valores son entre 2200 y 2400 veces más altos que los del seston. Con el valor de magnificación se demuestra la importancia de este proceso dentro del flujo de los compuestos organoclorados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, siendo mayor el factor de magnificación entre la lisa y el chivo (detritívoro y carnívoro), que entre la bocona y el chivo (planctófago y carnívoro).

Se ha discutido ampliamente en la literatura sobre la validez de la relación de las concentraciones en los diferentes niveles tróficos. Phillips (1980) revisó las referencias relacionadas con este aspecto y anotó, que la relación del contenido de los organoclorados frente al peso seco no es muy significativo para explicar la relación entre los diferentes niveles de la red trófica; contrariamente a ésto, el contenido de lípidos en relación con las concentraciones de DDT total es más conveniente para explicar la relación en los diferentes niveles tróficos. Una de las razones que se dan para esta baja relación tiene que ver con la falta de sincronización de la toma de las muestras en estos trabajos. A pesar de éstos inconvenientes, Holden (1972) reportó una amplificación en la acumulación del DDT total, dieldrin y PCBs en aguas escocesas y anota además, que la diferencia entre predador y presa son de la magnitud de 50 y 200. La validez de los resultados obtenidos en este estudio se demuestra, por las referencias que comprueban la amplificación por los diferentes niveles tróficos y además porque la recolección de las muestras (peces y sestón) fue simultánea. Además los análisis cromatográficos fueron validados con varias pruebas que señalaron un porcentaje de recuperación del método superior al 90%, ofreciendo la técnica empleada un alto grado de confiabilidad en los resultados obtenidos.


11.4%
11.4%
36.1 %
58.4%
22.3%
30.3%
7.7%
9.7%
12.9%
BHCs 846.1
HEPTACLOR 253.7
ALDRIN 0.9
DIELDRIN 2921.3
DDT s 158.9
2240
21800
2343
BOCONA
BHC s 3.7%
HEPTACLOR 3.1%
ALDRIN 1.2%
DIELDRIN 69.1%
DDTs 22.7%
26
CHIVO
BHCs 1.5%
HEPTACLOR 1.2 %
ALDRIN 0.1 %
DIELDRIN 8.3%
DDTs 87.9 %
3.3
LISA
BHC s 7.5%
HEPTACLOR 8.5 %
ALDRIN 0.3 %
DIELDRIN 50.7%
DDTs 33.1 %

Agradecimientos

El contenido de este artículo se extrajo del trabajo de grado presentado por J. Plata a la Universidad Nacional de Colombia como requisito para optar al título de Magister Scientiae. Los autores agredecemos al INVEMAR y a COLCIENCIAS, por el apoyo financiero de la investigación y a la Universidad de Caldas.

Literatura Citada

Derenbach, J., M. Ehrhardt, C. Osterroht & G. Petrick. 1978. Sampling of dissolved organic material from sea water with reversed phase techniques. *Mar. Chem.* 6: 351-363.

Epa. 1979. Manual for analytical control for pesticides and related compounds in human and environmental samples. First revision U. S. Enviromental Protection Agency 600/ 1-70-008.

Estrada, M. I. 1988. Determinación de plaguicidas organoclorados en peces *(Mugil incilis* y *Cathorops spixi*) y ostras (*Crassostrea rhizophorae*) de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final, INVEMAR, Santa Marta, 58 p., 8 tab., 3 fig. y 12 anexos.

Holden, A.V. 1972. Monitoring organochlorine contamination of the marine environment by analysis of residues in seals. In: M. Ruivo (e.d.). Marine Pollution and sea life. Fishing News Books, Ltd, London, 266-272.

Martínez, J. de D. 1978. Incidencia de pesticidas agrícolas en la zona bananera del Magdalena y contaminación en las aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta. INDERENA, Div. Pesq. 10 (5): 1-14.

Mcnair, H. M. & E. J. Bonelli. 1969. Basic gas chromatography. Edit. Varian Aerograph., Los Angeles California, U.S.A., 306 p.

Osterroht, C. & V. Smetacek. 1980. Vertical transport of chlorinated hydrocarbons by sedimentation of particulate matter in Kiel Bight. *Mar. Ecol.* Prog. Ser. 2: 27-34.

Phillips, D.J.H. 1980. Quantitative aquatic biological indicators. Applied Science Publishers, Ltd, London, 488 p.

Plata, J. 1990. Dinámica de los organoclorados en la red trófica de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Caribe colombiano). Tesis M. Sc., Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, 1101 p.

Pnuma/Cpps. 1993. Taller sobre estandarización de métodos para vigilancia de contaminación en el Pacífico sudeste: Petróleo y pesticidas. Manual referencial PNUMA/ CPPS/W.G. 89/13. Callao, Perú.

Ramírez, G. 1988. Niveles de contaminación por plaguicidas organoclorados en los sedimentos de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Memorias VI Seminario Nacional de Ciencias del Mar, Bogotá, Dic. 5, 6 y 7: 286-291.

Walsh, G. E. 1972. Insecticides, herbicides and polychlorinated biphenyls in esturiaes. *J. Wash. Acad. Sci.* 62: 122-139.

Weil, L., K. E. Quentin & G. Ronicke. 1973. Pestizidpegel des Luftsubs in der Bundesrepublik Komission zur Erforschung der Luftverunreinigung. *Mitteilungen* VIII, 21 p.